

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : 2 784 809  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : 98 13011

(51) Int Cl<sup>7</sup> : H 01 S 3/091

 COPY

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 16.10.98.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 21.04.00 Bulletin 00/16.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement de caractère scientifique technique et industriel — FR.

(72) Inventeur(s) : BRESSE LUDOVIC, COUCHAUD MAURICE, FERRAND BERNARD et MOLVA ENGIN.

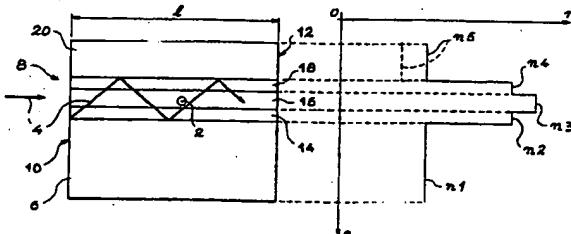
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : BREVATOME.

(54) AMPLIFICATEUR OPTIQUE DE PUISSANCE A GUIDE D'ONDE PLANAIRES POMPE OPTIQUEMENT ET LASER DE PUISSANCE UTILISANT CET AMPLIFICATEUR.

(57) Amplificateur optique de puissance à guide d'onde planaire pompé optiquement et laser de puissance utilisant cet amplificateur.

Le guide planaire de l'amplificateur comprend des couches (14, 16, 18) formant un guide multimode et de grande ouverture numérique pour la lumière de pompage (4) et un guide monomode (16) pour la lumière à amplifier (2). Cette dernière est amplifiée dans ce guide monomode grâce au pompage optique.



AMPLIFICATEUR OPTIQUE DE PUISSANCE À GUIDE D'ONDE  
PLANAIRE POMPÉ OPTIQUEMENT ET LASER DE PUISSANCE  
UTILISANT CET AMPLIFICATEUR

DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un amplificateur optique de puissance à guide d'onde planaire pompé optiquement ainsi qu'un laser de puissance utilisant cet amplificateur.

10 L'invention trouve des applications notamment dans les domaines suivants : marquage et micro-marquage par laser, télémétrie à longue distance, télécommunications, en particulier télécommunications spatiales (entre satellites), affichage par laser, 15 instrumentation scientifique et instrumentation biomédicale.

20 L'invention est avantageusement utilisable dans une structure de type « amplificateur de puissance à oscillateur maître (« master oscillator power amplifier ») plus simplement appelée MOPA.

Cette structure utilise une source laser (oscillateur maître) de faible puissance, capable d'émettre un faisceau laser de grande qualité optique, ainsi qu'un amplificateur optique de puissance qui est 25 susceptible d'apporter la puissance nécessaire à l'amplification de ce faisceau, tout en détériorant le moins possible les qualités originelles de celui-ci.

Dans l'amplificateur optique, un milieu laser, dopé avec des ions optiquement actifs, est pompé

optiquement par exemple par des diodes lasers de puissance pour amplifier le faisceau laser incident. Il s'agit d'un amplificateur à onde progressive (« travelling wave amplifier ») plus simplement appelé 5 TWA. En effet l'amplification est réalisée au cours de la traversée, par le faisceau laser, du milieu laser amplificateur.

Un tel amplificateur optique n'est donc pas un laser (qui comprend toujours une cavité résonante) 10 et il faut même éviter le plus possible qu'un tel amplificateur devienne un laser pour avoir un meilleur gain.

#### ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On connaît des amplificateurs optiques 15 massifs (« bulk ») en forme de barreau (« rod ») ou en forme de plaque (« slab »). Ces amplificateurs optiques peuvent amplifier une forte puissance mais avec un faible gain. De plus leurs longueurs sont de l'ordre de plusieurs centimètres voire plusieurs dizaines de 20 centimètres. Ils ne sont donc pas compacts.

De tels amplificateurs sont par exemple considérés dans le document [4] qui, comme les autres documents cités par la suite, est mentionné à la fin de la présente description.

25 On connaît aussi des amplificateurs optiques en forme de plaque mince (« thin slab »). Cependant ces amplificateurs ne permettent pas de guider un faisceau laser incident de façon monomode de sorte que la qualité du faisceau de sortie est 30 médiocre. Il en résulte par exemple que la focalisation d'un tel faisceau de sortie sur une très petite surface

est difficile. En particulier, un tel faisceau est quasiment inutilisable pour une gravure de précision.

De tels amplificateurs sont mentionnés dans le document [8].

5 On connaît également les amplificateurs à fibre optique qui ont un gain important mais une faible puissance. De plus, de tels amplificateurs ne sont pas compacts car ils utilisent une longueur importante de fibre optique.

10 De tels amplificateurs sont mentionnés dans le document [5].

On connaît en outre des amplificateurs optiques à guide d'onde planaire pour les télécommunications (à 1,3  $\mu\text{m}$  ou 1,55  $\mu\text{m}$ ). De tels amplificateurs sont pompés par des fibres optiques, de 15 façon longitudinale, de sorte qu'ils sont mal adaptés à des applications nécessitant des faisceaux lasers de puissance.

20 De tels amplificateurs sont mentionnés dans les documents [3] et [6].

On connaît aussi un amplificateur optique de puissance à guide d'onde planaire qui est compatible avec les micro-lasers émettant à 1,064  $\mu\text{m}$ . Les couches de ce guide planaire sont formées par épitaxie en phase 25 liquide sur un substrat.

On se reportera au document [1] où est décrit cet amplificateur.

On précise qu'il est possible de former les couches épitaxiées du guide planaire à partir de 30 l'enseignement du document [2] auquel on se reportera. Il convient de noter que ce document [2] divulgue l'utilisation de couches épitaxiées pour former des

cavités lasers compactes. Il n'est en aucun cas question d'amplification optique dans ce document [2].

Si l'on considère la figure 2 du document [1] on constate que le pompage optique de l'amplificateur décrit dans ce document est effectué de façon longitudinale. Cela nécessite un quasi-alignement et même une quasi-superposition du faisceau de pompe et du faisceau à amplifier. Cependant, comme chacun de ceux-ci a une taille de quelques dizaines de micromètres, une telle technique est très difficile à mettre en oeuvre et à rendre fiable.

De plus, une amplification de puissance nécessite une technique de pompage ayant un bon rendement de couplage et permettant d'apporter de fortes énergies au milieu amplificateur. Or l'amplificateur décrit dans le document [1] n'est pas compact et ne permet pas de réduire les pertes optiques (car cet amplificateur nécessite un trop grand nombre d'optiques).

De plus, il ne permet pas d'obtenir un rendement de couplage optimal. En effet, pour cet amplificateur le pompage optique est obtenu grâce à une diode laser de puissance dont l'émission a une configuration elliptique et qui émet un faisceau laser qui n'est pas limité par la diffraction.

En outre, l'amplificateur décrit dans ce document [1] ne permet pas, à partir d'un faisceau incident de bonne qualité optique, de fournir un faisceau amplifié de grande puissance qui conserve cette bonne qualité optique.

## EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour objet un amplificateur optique à guide d'onde planaire permettant d'amplifier un faisceau émis par une source 5 laser, par exemple un micro-laser, en réalisant un couplage optimal de la lumière de pompe, par exemple émise par une diode laser ou une pluralité (par exemple une barrette) de diodes lasers, tout en préservant les qualités optiques du faisceau issu de la source laser à 10 après amplification de ce faisceau.

De façon précise la présente invention a tout d'abord pour objet un amplificateur optique destiné à amplifier une première lumière, par pompage optique au moyen d'une deuxième lumière, cet 15 amplificateur comprenant un substrat et, sur ce substrat, un guide d'onde optique planaire comportant une pluralité de couches, cet amplificateur étant caractérisé en ce que cette pluralité de couches forme - un guide d'onde optique multimode et de grande 20 ouverture numérique pour la deuxième lumière, ce guide d'onde multimode étant apte à accepter la majeure partie de cette deuxième lumière et à guider celle-ci, et - un guide d'onde optique monomode pour la première 25 lumière, ce guide d'onde monomode étant apte à guider la première lumière et à amplifier celle-ci grâce au pompage optique engendré par la deuxième lumière.

L'amplificateur objet de l'invention est 30 susceptible d'être compact et comprend un guide d'onde à pluralité de couches, permettant un couplage (de préférence un couplage transverse) efficace d'un

faisceau lumineux de pompe multimode qui est n'est pas limité par la diffraction et qui est par exemple issu d'une ou de plusieurs barrettes de diodes lasers de puissance, tout en permettant une amplification 5 monomode d'un faisceau laser pulsé ou continu qui traverse ce guide d'onde.

Le guide d'onde planaire utilisé dans l'invention est compatible avec une puissance de pompe élevée et avec des signaux de bonne qualité que l'on 10 veut amplifier. De plus on peut utiliser un procédé de fabrication collective pour fabriquer, en un grand nombre d'exemplaires, un amplificateur conforme à l'invention.

Selon un premier mode de réalisation 15 particulier de l'amplificateur objet de l'invention, le guide d'onde planaire comprend :

- une première couche formée sur le substrat et contenant des ions activateurs pour l'amplification de la première lumière, et
- 20 - une deuxième couche formée sur la première couche, la première couche formant le guide monomode pour la première lumière et l'ensemble des première et deuxième couches formant le guide multimode de grande ouverture numérique pour la deuxième lumière, l'indice optique de la première couche étant supérieur à celui du substrat, l'indice optique de la deuxième couche étant inférieur à celui de la première couche et supérieur à celui du substrat.

Selon un deuxième mode de réalisation 30 particulier, le guide d'onde planaire comprend :

- une première couche formée sur le substrat,

- une deuxième couche formée sur la première couche et contenant des ions activateurs pour l'amplification de la première lumière, et
- une troisième couche formée sur la deuxième couche,

5 la deuxième couche formant le guide monomode pour la première lumière et l'ensemble des première, deuxième et troisième couches formant le guide multimode de grande ouverture numérique pour la deuxième lumière, l'indice optique de la deuxième couche étant supérieur

10. à celui du substrat et l'indice optique de chacune des première et troisième couches étant inférieur à celui de la deuxième couche et supérieur à celui du substrat.

Dans l'un ou l'autre de ces deux modes de réalisation particuliers l'amplificateur peut 15 comprendre en outre une couche de protection formée sur ledit ensemble et ayant un indice optique inférieur ou égal à celui du substrat.

De préférence, le guide planaire a la forme d'un parallélépipède rectangle et comporte quatre faces 20 polies.

Dans ce cas, selon un mode de réalisation préféré, la face latérale du guide d'onde planaire, face qui est opposée à celle par laquelle pénètre la deuxième lumière, est recouverte d'une couche hautement 25 ou totalement réfléchissante vis-à-vis de cette deuxième lumière.

De préférence, la couche qui est hautement ou totalement réfléchissante vis-à-vis de la deuxième lumière est également anti-reflet vis-à-vis de la 30 première lumière et la face latérale du guide d'onde planaire, face qui est opposée à celle par laquelle pénètre la première lumière, est recouverte d'une couche anti-reflet vis-à-vis de la première lumière.

En variante, au lieu d'utiliser de telles couches, on peut faire en sorte que les faces latérales du guide d'onde planaire, faces qui sont opposées à celles par lesquelles pénètrent respectivement les 5 première et deuxième lumières, soient à environ 1°.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le guide planaire en forme de parallélépipède rectangle est en outre biseauté suivant un même angle au niveau de deux arêtes latérales 10 opposées et comprend ainsi deux faces latérales opposées supplémentaires qui sont respectivement destinées à recevoir la première lumière et à fournir cette première lumière sous forme amplifiée dans une configuration de passages multiples.

15 Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les couches du guide planaire sont formées par épitaxie en phase liquide.

La présente invention a également pour objet un laser de puissance comprenant :

20 - l'amplificateur optique objet de l'invention,  
- une source laser destinée à fournir la première lumière à cet amplificateur et  
- une source de lumière de pompage destinée à fournir la deuxième lumière à l'amplificateur.

25 De préférence, la source de lumière de pompage est disposée de façon à permettre un pompage optique dans l'amplificateur.

30 Cette source de lumière de pompage comprend par exemple au moins une diode laser de puissance. Pour certaines applications de l'invention, on peut avoir à utiliser une diode laser capable d'émettre dans le proche infrarouge.

La source laser peut, quant à elle, comprendre au moins un micro-laser, par exemple une barrette de micro-lasers.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

5 La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

10 • les figures 1 et 2 sont des vues en coupe transversale schématique de deux modes de réalisation particuliers de l'amplificateur objet de l'invention, avec les profils d'indice optique correspondants,

15 • la figure 3 est une vue schématique d'un laser de puissance utilisant un amplificateur conforme à l'invention,

20 • la figure 4 est une vue de dessus schématique d'un amplificateur conforme à l'invention dont le guide planaire comprend deux faces latérales biseautées, et

• la figure 5 est une vue de dessus schématique d'un autre amplificateur conforme à l'invention.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

25 Dans le cas de chacune des figures 1 à 4, on utilise un pompage transverse pour l'amplification d'un faisceau lumineux grâce à un amplificateur conforme à l'invention. La direction de propagation du ou des faisceaux lumineux permettant ce pompage optique

est alors perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau que l'on veut amplifier.

La présente invention est également utilisable dans le cas d'un pompage longitudinal mais 5 le pompage transverse est préférable car il est plus simple à mettre en oeuvre.

Cependant, le recouvrement du ou des faisceaux de pompe et du faisceau que l'on veut amplifier est moins favorable dans le cas d'un pompage 10 transverse que dans le cas d'un pompage longitudinal.

Cela impose d'utiliser, tant pour le faisceau de pompe que pour le faisceau à amplifier, un guide planaire ayant de faibles pertes optiques.

Pour former l'empilement des couches de ce 15 guide planaire que comprend un amplificateur conforme à l'invention, on utilise l'épitaxie en phase liquide qui est une technique très adaptée (bien que d'autres techniques le soient également) pour réaliser un empilement adéquat. En effet on obtient, par cette 20 technique d'épitaxie en phase liquide, des couches de bonne qualité optique, comprenant peu de défauts volumiques et surfaciques et possédant donc de faibles pertes optiques pour la propagation.

La bonne homogénéité permise par cette 25 technique, sur un substrat dont le diamètre peut aller jusqu'à 5 cm voire plus, ainsi que sa souplesse d'emploi, en ce qui concerne le choix des paramètres optiques (dopages et donc indices optiques) et des paramètres géométriques (croissance et découpe), 30 permettent une réalisation optimisée et collective d'amplificateurs optiques conformes à l'invention.

L'amplificateur qui est schématiquement représenté en coupe transversale sur la figure 1 est

destiné à amplifier un faisceau laser 2 par pompage optique transverse au moyen d'un autre faisceau laser 4.

La figure 1 est ainsi une vue en coupe 5 transversale perpendiculairement à l'axe du faisceau à amplifier 2.

L'amplificateur de la figure 1 comprend un substrat monocristallin 6 et, sur ce substrat, un guide d'onde optique planaire 8. Ce guide planaire a la forme 10 d'un parallélépipède rectangle et comprend quatre faces latérales polies. Deux faces latérales opposées sont visibles sur la figure 1 où elles ont les références 10 et 12.

De plus, ce guide planaire comprend trois 15 couches monocristallines 14, 16 et 18 épitaxiées sur le substrat, de préférence par épitaxie en phase liquide.

Pour la fabrication de ce guide planaire on peut utiliser l'enseignement du document [2] déjà cité.

La couche 14 est formée sur le substrat 6. 20 La couche 16 est formée sur cette couche 14 et contient des ions activateurs pour l'amplification du faisceau 2 et la couche 18 est formée sur cette couche 16. L'ensemble des trois couches 14, 16, 18 forme un guide d'onde optique multimode et de grande ouverture 25 numérique pour le faisceau de pompage 4 (qui a une longueur d'onde donnée).

Ce guide multimode est apte à accepter la majeure partie de ce faisceau de pompage et à guider celui-ci.

30 La deuxième couche 16 forme un guide d'onde optique monomode pour le faisceau à amplifier 2 (qui a une longueur d'onde donnée). Ce guide monomode est apte

à guider ce faisceau 2 et à amplifier celui-ci grâce au pompage optique engendré par le faisceau de pompage 4.

La troisième couche 18, ou couche supérieure, peut être laissée à l'air libre mais, dans 5 le cas de la figure 1, elle est recouverte par une couche de protection 20.

On voit également sur cette figure 1 les variations de l'indice optique  $n$  en fonction de l'épaisseur  $e$  qui est comptée en allant de la couche de 10 protection 20 jusqu'au substrat 6.

Les indices optiques du substrat 6, de la couche 14, de la couche 16, de la couche 18 et de la couche 20 sont respectivement notés  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_4$  et  $n_5$ .

15 On voit que  $n_3$  est supérieur à  $n_1$  et que  $n_2$  et  $n_4$  sont tous deux légèrement inférieurs à  $n_3$  mais supérieurs à  $n_1$ ,  $n_2$  étant égal à  $n_4$  dans l'exemple représenté. On voit aussi que  $n_5$  est inférieur ou égal à  $n_1$ .

20 On voit que l'empilement des couches monocristallines 14, 16 et 18 forme un guide multimode (pour la longueur d'onde du faisceau de pompe 4) sur toute la largeur  $l$  de ce guide.

25 On voit aussi que le guide monomode (pour la longueur d'onde du faisceau à amplifier 2), c'est-à-dire la couche 16, est un guide monomode enterré.

Les deux couches 14 et 18 sont des couches de confinement. Elles ne sont pas dopées par les ions activateurs mais leur dopage est choisi pour qu'elles 30 aient un indice optique ( $n_2=n_4$ ) bien plus élevé que celui ( $n_1$ ) du substrat.

L'empilement des couches 14, 16 et 18 possède des indices optiques à la fois proches les uns

des autres, pour permettre le guidage monomode du faisceau à amplifier 2, et fortement contrastés par rapport au substrat et au milieu extérieur (c'est-à-dire l'air ou la couche de protection 20), ce qui lui 5 confère une grande ouverture numérique vis-à-vis du faisceau de pompe 4.

A titre purement indicatif et nullement limitatif, le faisceau à amplifier 2 a une longueur d'onde de 1,064  $\mu\text{m}$  et le faisceau de pompage 4 a une 10 longueur d'onde de l'ordre de 807 nm à 808 nm ; le substrat 6 est en YAG blanc ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ) ; les couches de confinement 14 et 18 sont en YAG dopé avec 12%at de Ga et 35%at de Lu ; la couche active 16 est en YAG dopé avec 1 à 3% at de Nd, 14% at de Ga et 46% at de Lu ; la 15 couche de protection 20 peut être en silice (indice optique représenté en pointillés, inférieur à celui du substrat) ou en YAG (même indice que celui du substrat) ; les épaisseurs du substrat, de la couche 14, de la couche 16, de la couche 18 et de la couche de 20 protection 20 valent respectivement 550  $\mu\text{m}$ , 2,5  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ , 2,5  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$  ; l'épaisseur du guide multimode vaut ainsi 10  $\mu\text{m}$  ; l'écart entre  $n_3$  et  $n_2$  (et donc entre  $n_3$  et  $n_4$ ) est de l'ordre de  $10^{-3}$  ; l'écart entre  $n_2$  (ou  $n_4$ ) et  $n_1$  est de l'ordre de  $2 \times 10^{-2}$  et il en est 25 de même pour l'écart entre  $n_3$  et  $n_1$ .

La grande ouverture numérique ainsi obtenue permet un couplage optimal du faisceau de pompe 4 avec le milieu actif (couche 16). En effet cette ouverture numérique définit le cône d'acceptance du faisceau de 30 pompe 4 dans le guide d'onde multimode (ensemble des couches 14, 16 et 18). Le faisceau de pompe 4 n'étant pas limité par la diffraction, le guide de ce faisceau de pompe doit avoir l'ouverture numérique la plus

importante possible pour absorber la plus grande partie du faisceau de pompe 4 tout en conservant une zone de guidage monomode (couche 16) pour le faisceau à amplifier 2.

5 A titre de comparaison, un guide avec la même ouverture numérique de 0,26 (on rappelle que l'ouverture numérique est la racine carrée de la différence entre le carré de l'indice optique du guide dopé avec les ions actifs et le carré de l'indice optique du substrat) et ne possédant qu'une couche guidante de 10  $\mu\text{m}$  ne serait pas monomode et posséderait donc un moins grande qualité de faisceau.

10 15 Il est important que l'amplificateur ait un guide multimode épais. Cela permet de focaliser plus facilement le faisceau de pompe 4 sur la tranche de l'empilement des couches 14, 16 et 18 et de rendre le montage plus compact.

20 25 L'amplificateur de la figure 2 diffère de celui de la figure 1 par le fait que la couche 14 est supprimée. La couche 16, référencée 16a sur la figure 2, repose directement sur le substrat 6. De plus la couche 18, référencée 18a sur la figure 2, a une épaisseur supérieure à l'épaisseur qu'elle avait dans le cas de la figure 1. Dans le cas de la figure 2, le guide monomode est formé par la couche 16a tandis que le guide multimode est constitué par l'ensemble des couches 16a et 18a.

30 Dans l'exemple représenté, les indices  $n_1$ ,  $n_3$ ,  $n_4$  et  $n_5$  conservent les valeurs qu'ils avaient dans le cas de la figure 1, l'épaisseur de la couche 18a est le double de l'épaisseur de la couche 18 de la figure 1 et l'on obtient encore une épaisseur de 10  $\mu\text{m}$  pour le guide multimode.

La figure 3 est une vue en perspective schématique d'un laser de puissance conforme à l'invention. Ce laser de puissance comprend un amplificateur 22 conforme à l'invention 5 (l'amplificateur de la figure 2 dans l'exemple représenté) ainsi qu'une source laser 24 (un micro-laser dans l'exemple représenté) destinée à fournir le faisceau 2 que l'on veut amplifier et une source 26 de lumière de pompage (une barrette de diodes lasers de 10 puissance dans l'exemple représenté) qui fournit plusieurs faisceaux lasers de pompage qui ont la référence collective 28.

Il s'agit encore d'un pompage transverse et la barrette de diodes lasers de puissance est disposée 15 de façon que les faisceaux de pompage issus des différentes diodes de cette barrette soient perpendiculaires à l'axe du faisceau à amplifier 2.

Le laser de puissance comprend aussi une lentille cylindrique 30 prévue pour collimater les 20 faisceaux de pompage et une lentille cylindrique de couplage 32 qui reçoit ces faisceaux collimatés et les focalise sur la tranche du guide multimode (couches 16a et 18a).

On voit également le faisceau laser 34 qui 25 a été amplifié grâce au pompage optique et qui sort par la tranche du guide monomode (couche 16a), par une face latérale 36 du guide planaire, adjacente à la face 10 qui reçoit les faisceaux de pompage.

A titre purement indicatif et nullement 30 limitatif, on utilise une barrette de diodes lasers de puissance de 20 W, émettant à une longueur d'onde de 807 à 808 nm.

La face latérale 12 du guide planaire (face opposée à celle par laquelle pénètrent les faisceaux de pompage) est avantageusement recouverte d'une couche hautement ou totalement réfléchissante 38 vis-à-vis de 5 ces faisceaux de pompage.

De préférence, cette couche 38 est également anti-reflet vis-à-vis du faisceau à amplifier 2 et une autre couche 40 anti-reflet vis-à-vis du faisceau à amplifier 2, recouvre également la face 10 latérale 36 du guide planaire (face opposée à la face latérale d'entrée du faisceau à amplifier).

Ces couches 38 et 40 sont des dépôts multidiélectriques qui permettent :

- d'optimiser les dimensions transverses du guide planaire tout en assurant une bonne uniformité du pompage dans l'amplificateur,
- d'éviter les oscillations parasites qui contribuent à dégrader les performances de l'amplificateur et
- d'éliminer les pertes d'injection dans la structure guidante et les retours de la lumière dans les diodes de pompe ou dans le micro-laser 24 (oscillateur maître), qui perturberaient le fonctionnement de ceux-ci.

Au lieu d'utiliser de telles couches, on 25 peut biseauter, comme cela est schématiquement illustré par la figure 4 en vue de dessus, les faces latérales 12 et 36 du guide planaire.

On voit que la face 12 est biseautée avec un angle  $\alpha$  et que la face 36 est biseautée avec un 30 angle  $\beta$ . Ces angles  $\alpha$  et  $\beta$  sont de l'ordre de  $0,5^\circ$  à  $1^\circ$ . Ces biseaux remplacent donc les traitements diélectriques destinés à lutter contre les oscillations parasites (effet laser indésirable).

S'il n'y a pas la couche 38, on peut prévoir, en regard de la face latérale 12, un autre ensemble de pompage optique pour envoyer des faisceaux de pompage 28a dans la tranche du guide multimode, cet autre ensemble comprenant successivement une barrette 26a de diodes lasers de puissance, une lentille de collimation 30a (homologue de la lentille 30) et une lentille de focalisation 32a (homologue de la lentille 32).

10 La structure planaire d'un amplificateur conforme à l'invention facilite :

- la régulation en température ainsi que la minimisation des effets de distorsion thermo-optique (biréfringence thermo-induite), qui permettent de forts gains avec de fortes puissances de sortie
- le passage d'une amplification d'un seul faisceau à une amplification de plusieurs faisceaux, grâce au pompage étant un pompage transverse effectué sur toute la largeur l (figure 3) du guide planaire et
- 20 - l'utilisation de microtechniques optiques et mécaniques pour réaliser des sources lasers de puissance, que l'on peut intégrer dans des micro-systèmes.

25 L'amplificateur objet de l'invention est susceptible de fonctionner à de multiples longueurs d'onde et avec différents matériaux cristallins (par exemple YAG, LMA, YSO, YAP, YAB, YLF et COB), que l'on peut déposer par épitaxie, ainsi qu'avec différents ions activateurs (par exemple Nd, Yb, Er, Pr et Cr) et divers co-dopants (par exemple Ga, Lu, Sc et Bi).

La concentration en ions dopants et co-dopants dans les différentes couches permet de :

- maîtriser les indices optiques respectifs des matériaux,
- maîtriser les désaccords de maille entre les couches adjacentes (ceci est important pour la croissance des multicoques et la réduction des pertes par diffusion de volume ou d'interface) et
- fixer les grandeurs spectroscopiques telles que la longueur d'onde de fluorescence, la section efficace (« cross section ») d'absorption et la section efficace d'émission stimulée, qui permettent de dimensionner les structures amplificatrices.

10. L'amplificateur objet de l'invention permet donc, sous une forme compacte, l'amplification de puissance d'une source laser pulsée ou continue (typiquement un micro-laser) tout en permettant à celle-ci de conserver les qualités spatiales originelles de son faisceau qui sont indispensables à son intégration.

15. D'autres avantages de l'amplification objet de l'invention sont indiqués ci-après.

20. 1) La configuration de cet amplificateur facilite l'évacuation de chaleur tout en réduisant l'impact des effets thermiques sur la distorsion du faisceau à amplifier. Ceci est important lorsqu'il 25. s'agit d'un amplificateur de puissance.

25. 2) La conception de l'empilement de couches diélectriques est telle que l'on peut introduire facilement (avec une optique simple) un ou plusieurs faisceaux de pompe optique (par exemple guidé(s) 30. transversalement), issu(s) d'une ou de plusieurs diodes lasers de puissance, dans la zone active de l'amplificateur. Cette zone active se doit posséder une grande ouverture pour optimiser l'absorption du

rayonnement de cette ou ces diodes, rayonnement qui n'est pas limité par la diffraction.

3) L'empilement, tel qu'il est conçu, permet un guidage monomode du faisceau à amplifier dans 5 le guide amplificateur, ce qui assure une bonne qualité du faisceau amplifié à la sortie de l'amplificateur. L'invention permet donc de générer une puissance optique tout en conservant une bonne qualité de faisceau comparable à celle du faisceau avant son 10 amplification.

On dispose ainsi d'un système compact et à puissance de pompe modulable (par exemple avec des diodes lasers de 10, 20, 30 et 40 W sans changer la structure et en ayant donc accès à différentes gammes 15 de puissance).

Il convient de noter que l'amplificateur objet de l'invention est particulièrement adapté à un pompage transverse par diodes lasers puisque la configuration elliptique des faisceaux de sortie des 20 diodes lasers de puissance (figure 3) permet un couplage aisément par l'intermédiaire d'optiques simples.

On peut utiliser cet amplificateur avec un ou plusieurs faisceaux lasers à amplifier : par exemple, dans le cas de la figure 3, on peut remplacer 25 le microlaser 24 (émettant un seul faisceau) par une barrette de microlasers 24a émettant plusieurs faisceaux parallèles 2a, que l'on envoie simultanément dans le guide monomode, par la tranche de celui-ci, pour obtenir plusieurs faisceaux amplifiés 34a.

30 L'invention résout pour la première fois le problème du couplage de la puissance d'un faisceau de pompe multimode dans un amplificateur guide d'onde de

puissance tout en conservant une bonne qualité optique pour le faisceau amplifié.

De plus, compte tenu de la technique utilisée, il est facile de réaliser des structures à 5 passages multiples, compactes et efficaces, comparables à celles dont il est question dans le document [7].

La figure 5 est une vue de dessus schématique d'un amplificateur conforme à l'invention ayant une configuration à passages multiples. Dans le 10 cas de cette figure 5, on utilise encore le guide d'onde planaire 8 de forme parallélépipédique de la figure 1 ou de la figure 2 mais, dans le cas de la figure 5, ce guide planaire est biseauté, suivant un angle  $\gamma$  égal par exemple à  $45^\circ$ , au niveau de deux 15 arêtes latérales opposées et comprend ainsi deux faces latérales opposées supplémentaires 42 et 44 qui sont parallèles et respectivement destinées à recevoir le faisceau laser à amplifier 2 et à fournir un faisceau amplifié 34.

20 On voit aussi, sur la figure 5, la barrette de diodes lasers de puissance fournissant les faisceaux de pompe 28 ainsi que la lentille de collimation 30 et la lentille de focalisation 32.

On voit les nombreux passages effectués, 25 dans le guide monomode, par le faisceau laser que l'on veut amplifier.

On voit aussi un dépôt diélectrique 38a hautement ou totalement réfléchissant à la lumière des faisceaux de pompage, formé sur la face latérale 12 du 30 guide planaire, opposée à celle où arrivent les faisceaux de pompage.

Les documents cités dans la présente description sont les suivants :

[1] D.P. Sheperd; C.T.A. Brown, T.J. Warburton, D.C. Hanna, A.C. Tropper et B. Ferrand, A diode-pumped, 5 high gain, planar waveguide, Nd:Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> amplifier, Applied Physics Letters 71(7), 18 août 1997

[2] Invention de B. Chambaz, I. Chartier, B. Ferrand et D. Pelenc : FR 2685135 A -voir aussi EP 0547956 A et US5,309,471 A

10 [3] R.N. Ghosh, J. Shmulovich, C.F. Kane, M. R.X. De Barros, G. Nykolak, A. J. Bruce et P. C. Becker, 8-mW Threshold Er<sup>3+</sup>-Doped Planar Waveguide Amplifier, IEEE Photonics Technology Letters, vol. 8, n°4, avril 1996

[4] C. Kennedy, High Power Diode Pumped Laser Pulse Amplifier, Lasers & Optronics, octobre 1997

15 [5] J.D. Minelly, W.L. Barnes, R.I. Laming, P.R. Morkel, J.E. Townsend, S.G. Grubb et D.N. Payne, Diode Array Pumping of Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> Co-Doped Fiber Lasers and Amplifiers, IEEE Photonics Technology Letters, 20 vol.5, n°3, mars 1993

[6] Y.C. Yan, A.J. Faber, H. De Waal, P.G. Kik et A. Polman, Appl. Phys. Lett., 71, 2922 (1997)

[7] J.J. Degnan, Optimal Design of Passively Q-Switched Microlaser Transmitters for Satellite Laser Ranging, 25 présenté à « Laser Technology Developement Session » de « Tenth International Workshop on Laser Ranging Instrumentation », Shanghai, Chine, 11 au 15 novembre 1996

[8] J.E. Bernard, E. McCullough et A.J. Alcock, High-gain, diode-laser-pumped Nd:YVO<sub>4</sub> slab amplifier, Cleo 1994, CTuK54, p.116, 1994.

## REVENDICATIONS

1. Amplificateur optique destiné à amplifier une première lumière (2), par pompage optique au moyen d'une deuxième lumière (4), cet amplificateur comprenant un substrat (6) et, sur ce substrat, un guide d'onde optique planaire (8) comportant une pluralité de couches (14, 16, 18; 16a, 18a), cet amplificateur étant caractérisé en ce que cette pluralité de couches forme
  - 10 - un guide d'onde optique multimode et de grande ouverture numérique pour la deuxième lumière, ce guide d'onde multimode étant apte à accepter la majeure partie de cette deuxième lumière et à guider celle-ci, et
  - 15 - un guide d'onde optique monomode pour la première lumière, ce guide d'onde monomode étant apte à guider la première lumière et à amplifier celle-ci grâce au pompage optique engendré par la deuxième lumière.
- 20 2. Amplificateur selon la revendication 1, dans lequel le guide d'onde planaire comprend :
  - une première couche (16a) formée sur le substrat (6) et contenant des ions activateurs pour l'amplification de la première lumière, et
  - 25 - une deuxième couche (18a) formée sur la première couche, la première couche formant le guide monomode pour la première lumière et l'ensemble des première et deuxième couches formant le guide multimode de grande ouverture numérique pour la deuxième lumière, l'indice optique de la première couche étant supérieur à celui du substrat, l'indice optique de la deuxième couche étant inférieur

à celui de la première couche et supérieur à celui du substrat.

3. Amplificateur selon la revendication 1, dans lequel le guide d'onde planaire comprend :

- 5 - une première couche (14) formée sur le substrat,
- une deuxième couche (16) formée sur la première couche et contenant des ions activateurs pour l'amplification de la première lumière, et
- une troisième couche (18) formée sur la deuxième couche,

la deuxième couche formant le guide monomode pour la première lumière et l'ensemble des première, deuxième et troisième couches formant le guide multimode de grande ouverture numérique pour la deuxième lumière,

15 l'indice optique de la deuxième couche étant supérieur à celui du substrat et l'indice optique de chacune des première et troisième couches étant inférieur à celui de la deuxième couche et supérieur à celui du substrat.

4. Amplificateur selon l'une quelconque des 20 revendications 2 et 3, comprenant en outre une couche de protection (20) formée sur ledit ensemble et ayant un indice optique inférieur ou égal à celui du substrat.

5. Amplificateur selon l'une quelconque des 25 revendications 1 à 4, dans lequel le guide planaire a la forme d'un parallélépipède rectangle et comporte quatre faces latérales polies.

6. Amplificateur selon la revendications 5, dans lequel la face latérale du guide d'onde planaire, 30 face qui est opposée à celle par laquelle pénètre la deuxième lumière (4), est recouverte d'une couche (38) hautement ou totalement réfléchissante vis-à-vis de cette deuxième lumière.

7. Amplificateur selon la revendication 6, dans lequel la couche (38) qui est hautement ou totalement réfléchissante vis-à-vis de la deuxième lumière (4) est également anti-reflet vis-à-vis de la première lumière (2) et la face latérale du guide d'onde planaire, face qui est opposée à celle par laquelle pénètre la première lumière, est recouverte d'une couche (40) anti-reflet vis-à-vis de la première lumière.

10 8. Amplificateur selon la revendication 5, dans lequel les faces latérales (12, 36) du guide d'onde planaire, faces qui sont opposées à celles par lesquelles pénètrent respectivement les première et deuxième lumières, sont biseautées à environ 1°.

15 9. Amplificateur optique selon la revendication 5, dans lequel le guide planaire est en outre biseauté suivant un même angle au niveau de deux arêtes latérales opposées et comprend ainsi deux faces latérales opposées supplémentaires (42, 44) qui sont 20 respectivement destinées à recevoir la première lumière (2) et à fournir cette première lumière sous forme amplifiée (34) dans une configuration de passages multiples.

10. Amplificateur selon l'une quelconque 25 des revendications 1 à 9, dans lequel les couches (14, 16, 18; 16a, 18a) du guide planaire sont formées par épitaxie en phase liquide.

11. Laser de puissance comprenant :

- l'amplificateur optique (22) selon l'une quelconque 30 des revendications 1 à 10,
- une source laser (24) destinée à fournir la première lumière (2) à cet amplificateur et

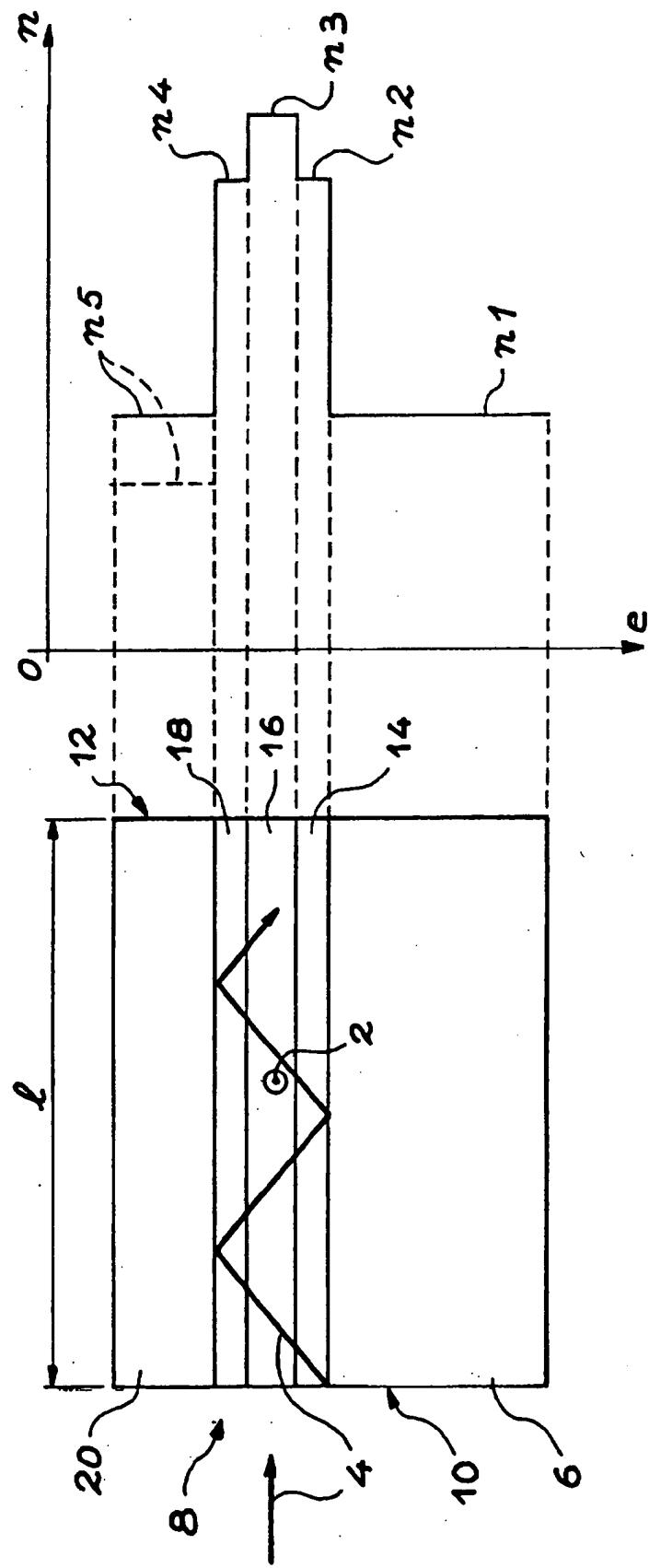
- une source de lumière de pompage (26) destinée à fournir la deuxième lumière (4) à l'amplificateur.

12. Laser selon la revendication 11, dans lequel la source de lumière de pompage (26) est 5 disposée de façon à permettre un pompage optique transverse dans l'amplificateur (22).

13. Laser selon l'une quelconque des revendications 11 et 12, dans lequel la source de lumière de pompage comprend au moins une diode laser de 10 puissance (26, 26a).

14. Laser selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans lequel la source laser comprend au moins un microlaser (24).

114



214

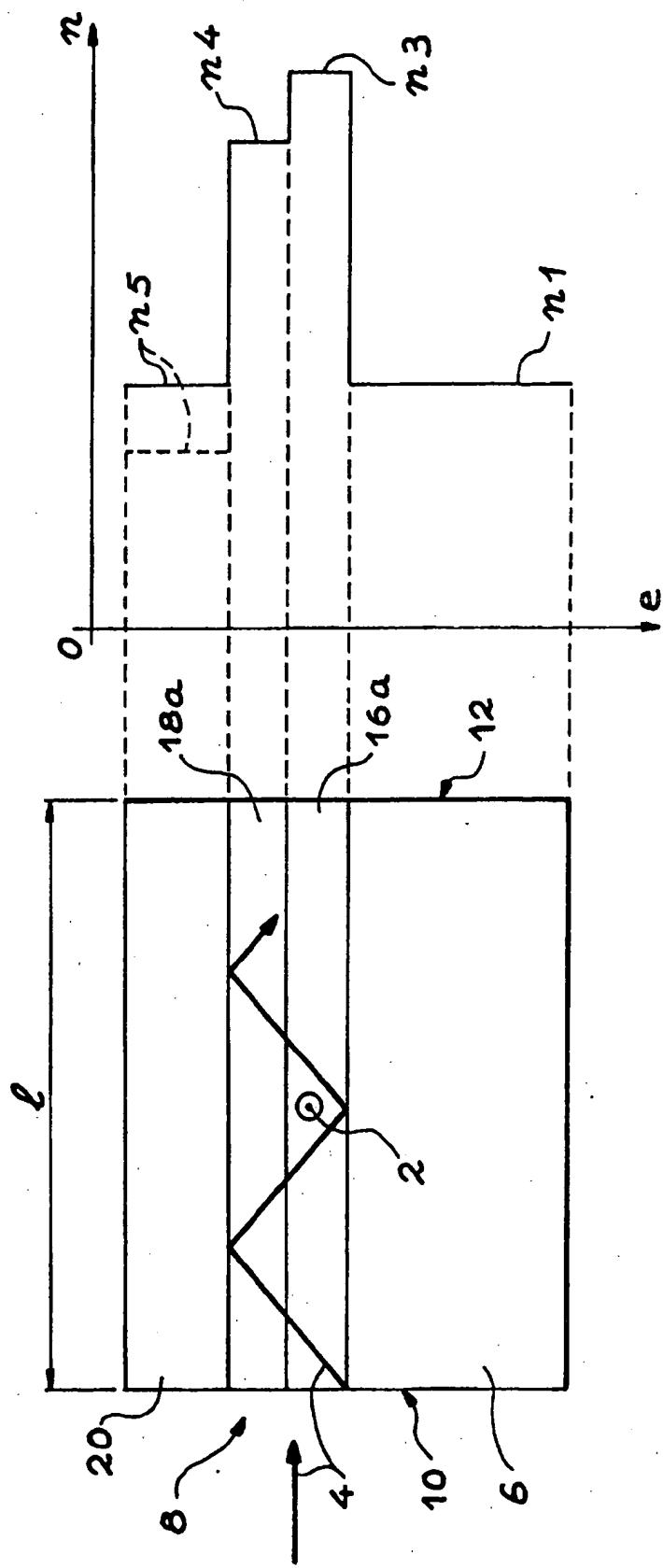


FIG. 2

3/4

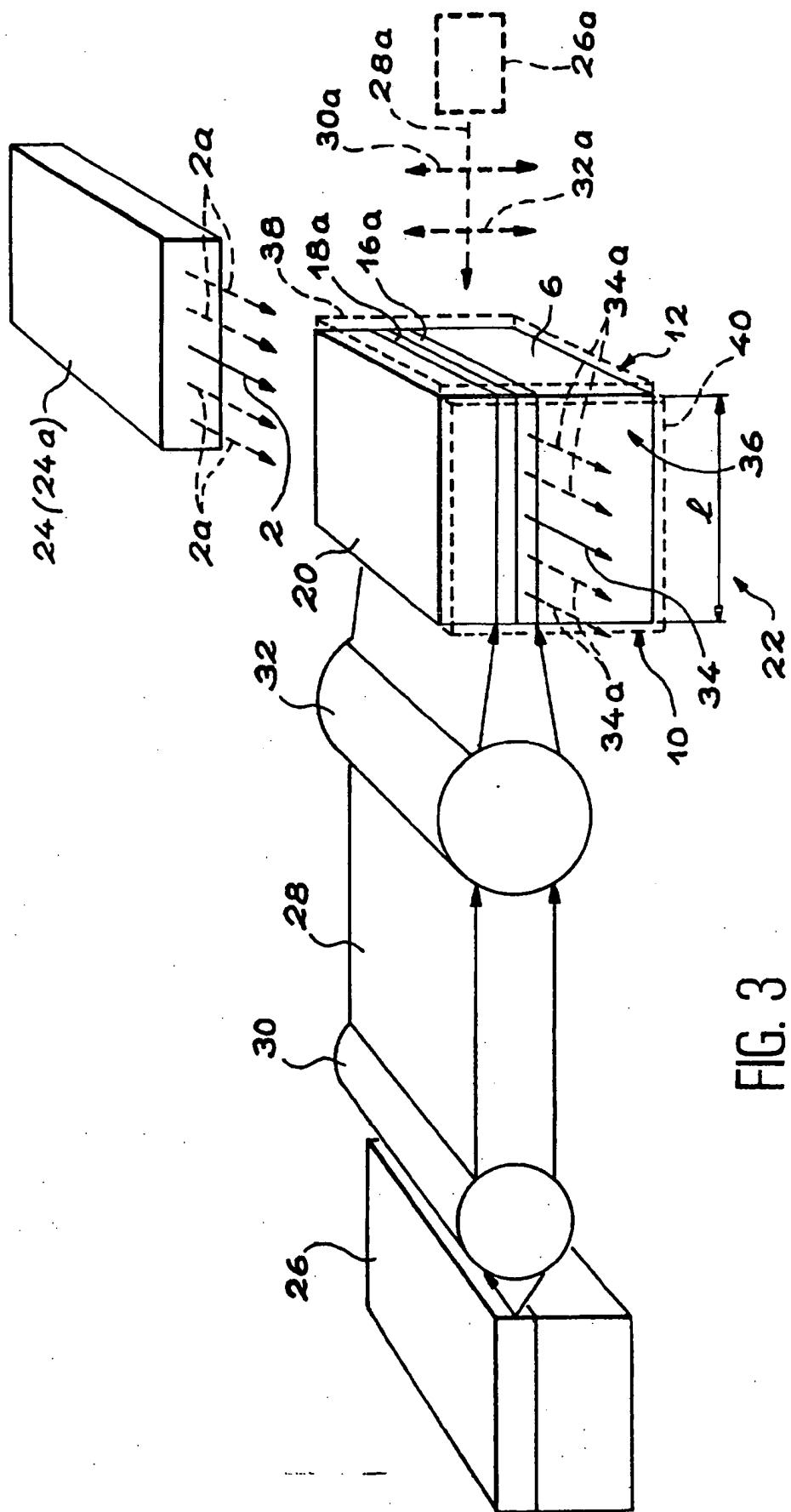


FIG. 3

4/4

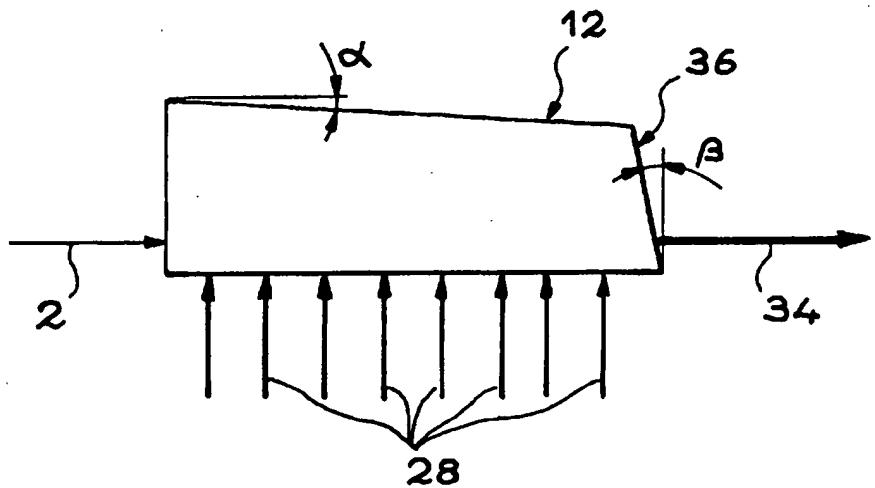


FIG. 4

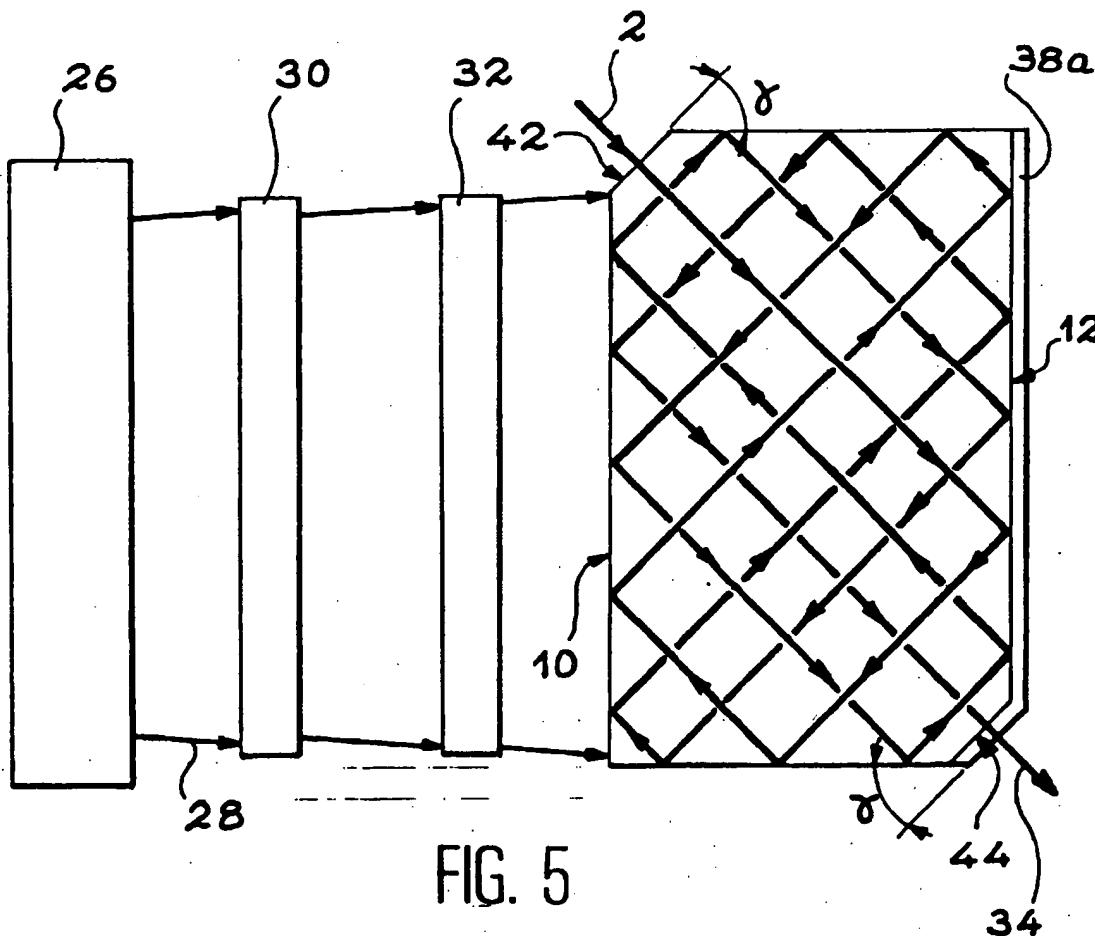


FIG. 5

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLERAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la rechercheN° d'enregistrement  
nationalFA 565396  
FR 9813011

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	HANNA D C: "A SIDE-PUMPED ND:YAG EPITAXIAL WAVEGUIDE LASER" OPTICS COMMUNICATIONS, vol. 91, no. 3 / 04, 15 juillet 1992, pages 229-235, XP000278905 * page 229, colonne de gauche, ligne 20 - ligne 26; figure 1 *	1-6, 10-14
Y	EP 0 320 990 A (POLAROID CORP) 21 juin 1989 * abrégé *	1-6, 10-14
D,A	FR 2 685 135 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 18 juin 1993	1-5
D,A	SHEPHERD D P ET AL: "A DIODE-PUMPED, HIGH GAIN, PLANAR WAVEGUIDE, ND:Y3AL5012 AMPLIFIER" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 71, no. 7, 18 août 1997, pages 876-878, XP000720055 * abrégé *	1
A	EP 0 821 453 A (INST LASER TECHNOLOGY ;IZAWA YASUKAZU (JP); NAKAI SADAWO (JP); HAM) 28 janvier 1998	1,9
A	US 5 365 538 A (TUMMINELLI RICHARD ET AL) 15 novembre 1994 * abrégé; figure 1 *	1
A	US 5 574 818 A (KRIVOSHLYKOV SERGEJ G) 12 novembre 1996 * colonne 5, ligne 38 - ligne 45; figure 3 *	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		H01S
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
30 juin 1999		Galanti, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul		
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général		
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention		
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.		
D : cité dans la demande		
L : cité pour d'autres raisons		
& : membre de la même famille, document correspondant		